

## Резюме проекта, выполняемого

в рамках ФЦП

### «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 – 2020 годы»

по этапу № 2

Номер Соглашения Электронного бюджета: 075-02-2018-992/1, Внутренний номер соглашения 14.604.21.0200

Тема: «Разработка инновационного радиоспектроскопического приборного комплекса и его применение для исследования и неразрушающего контроля конденсированных материалов, включая наноструктурные и биологические объекты»

Приоритетное направление: Индустрия наносистем (ИН)

Критическая технология: Нано-, био-, информационные, когнитивные технологии

Период выполнения: 26.09.2017 - 30.06.2020

Плановое финансирование проекта: 55.80 млн. руб.

Бюджетные средства 27.90 млн. руб.,

Внебюджетные средства 27.90 млн. руб.

Получатель: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук

Индустриальный партнер: Общество с ограниченной ответственностью "НТ-МДТ"

Ключевые слова: Электронный парамагнитный резонанс (ЭПР), оптически детектируемый магнитный резонанс (ОДМР), электронное спиновое эхо (ЭСЭ), двойной электронно-ядерный резонанс (ДЭЯР), оптически детектируемый циклотронный резонанс (ОДЦР), спин, спектрометр магнитного резонанса, атомно-силовой микроскоп, конфокальный микроскоп, магнито-оптический криостат, полупроводник, диэлектрик, наноструктура, одиночный квантовый объект, наноразмерный сенсор

## 1. Цель проекта

Разработка конструкторской документации на макет радиоспектроскопического приборного комплекса, обеспечивающего исследования и неразрушающий контроль конденсированных материалов, включая наноструктурные и биологические объекты, с характеристиками, отвечающими мировому уровню. Проведение отработки КД на макете и передача результатов ПНИ Индустриальному партнеру для проведения ОКР и постановки производства радиоспектроскопического приборного комплекса.

## 2. Основные результаты проекта

В рамках ПНИ на втором этапе были выполнены следующие работы:

Для высокочастотного спектрометра: разработана КД микроволнового блока на 130 ГГц, системы подачи микроволновой мощности на 130 ГГц, формирователя импульсов на 94 ГГц и 130 ГГц, автоматизированного поворотного механизма в соответствии с требованиями Технического задания. Изготовлены микроволновой блок на 130 ГГц, система подачи микроволновой мощности на 130 ГГц, формирователи импульсов на 94 ГГц и 130 ГГц и автоматизированный поворотный механизм. Разработана программа формирователя импульсов. Разработана лабораторная методика измерений на спектрометре, КД и ТД на стандартные образцы предприятий.

Для сканирующего спектрометра магнитного резонанса: разработана оптическая схема ССМР для регистрации оптически детектируемого магнитного резонанса (диапазон 1 МГц – 4 ГГц), разработана КД электромагнита, разработана программа управления развёрткой магнитного поля. Изготовлен электромагнит. Проведена настройка покупного контроллера сбора и хранения данных. Выбраны оптимальный состав и геометрия АСМ кантиллеров, а также оптимальный способ фиксации наночастиц на их острие. Разработана программа для регистрации спектров, а также КД модуля ввода излучения и модуля вывода полезного излучения.

Были проведены работы по достижению показателей результативности предоставления субсидии, подведены итоги этапа ПНИ и разработана отчетная документация.

### **3. Охраноспособные результаты интеллектуальной деятельности (РИД), полученные в рамках прикладного научного исследования и экспериментальной разработки**

В процессе выполнения 2-го этапа ПНИ поданы следующие заявки на получение патентов на изобретения:

- Заявка № 2018123466 от 28.06.2018 на получение патента на изобретение «Оптический магнитометр», РФ;
- Заявка № 2018123465 от 28.06.2018 на получение патента на изобретение «Оптический магнитометр», РФ;
- Заявка № 2018123464 от 28.06.2018 на получение патента на изобретение «Способ измерения магнитного поля», РФ;
- Заявка № 2018130888 от 27.08.2018 на получение патента на изобретение «Способ измерения температуры», РФ.

### **4. Назначение и область применения результатов проекта**

Разрабатываемый макет радиоспектроскопического приборного комплекса (РПК), как показали проведенные исследования рынка, коммерческого аналога не имеет. Разработка является новой и уникальной.

Этот прибор позволит исследовать вещества в экстремально малых объемах, что является принципиально важным для многих областей применений, таких как медицинская химия, структурная биология, онкология, молекулярные методы визуализации. Он предназначен для:

- анализа и неразрушающей диагностики полупроводниковых материалов и наноструктур на их основе, включая приборные структуры для микро- и оптоэлектроники;
- исследования и контроля материалов, перспективных для применений в фотовольтаике, процессов разделения зарядов в системах для солнечной энергетики, включая гибридные органические-неорганические устройства, а также био-неорганические структуры на основе интегрирования в твердотельные ячейки для фотовольтаики протеинов, участвующих в биологическом фотосинтезе;
- исследования спиновых свойств и манипуляций спинами в устройствах для спинтроники и квантовых системах для информационных технологий будущего, включая устройства на основе единичного квантового объекта: единичной молекулы, единичного дефекта, единичной квантовой точки;
- исследования природы фотосинтеза, процессов разделения заряда в биологических фотосистемах;
- исследования процессов в биологических системах, в протеинах, металло-протеинах, содержащих переходные металлы и их кластеры, динамики и направленности переноса вещества через мембраны в протеинах, изучение возможности контролируемой модификации протеинов для геной инженерии; исследование свободных радикалов, играющих определяющую роль в биологических процессах;
- использования методов ЭПР для ранней диагностики раковых заболеваний;
- определения парциального давления кислорода внутри живых систем с использованием уникального свойства молекулярного кислорода - его парамагнетизма и клинические применения разработанных методик;
- применения в медицине и фармацевтике для разработки новых типов лекарств со свободными радикалами и без них, определение состава лекарственных веществ, определение срока годности веществ, устойчивости препаратов под действием внешних факторов, наличия вредных компонент;
- диагностики последствий воздействия облучения на организм (рентген и другие методы, в том числе методы антираковой терапии), использование ЭПР в дозиметрии и био-дозиметрии;
- анализа геологических пород в различных месторождениях (нефть, алмазы, металлические руды, минеральные удобрения и т.д.);
- исследования и неразрушающего контроля малых объемов вещества, вплоть до 10-10 мм<sup>3</sup> (кристаллов протеинов, тонких пленок, кожных поверхностей, живой материи и т.д.).

### **5. Эффекты от внедрения результатов проекта**

В дальнейшем на базе работ, выполненных в данном проекте можно будет создать общую технологическую схему, в рамках которой на единой платформе по блочному принципу будет создана линейка высокочастотных спектрометров, не имеющая мировых аналогов.

В результате проекта будут получены принципиально новые разработки и продукция, которые позволят значительно усилить конкурентные преимущества российской науки и бизнеса.

### **6. Формы и объемы коммерциализации результатов проекта**

Разрабатываемое оборудование ориентировано на широкое применение в научно-исследовательских организациях и фирмах производителях наукоемкой продукции и будет конкурентоспособным на мировом рынке, что позволит реализовать задачу по разработке современного аналитического оборудования для обеспечения развития отечественного производства в области наукоемкого приборостроения.

По окончании этапа НИОКР возможен серийный выпуск радиоспектроскопического приборного комплекса для исследования и диагностики конденсированных материалов.

Возможна также разработка упрощенных вариантов приборов для ВУЗов и образовательных центров с целью демонстрации

квантовых процессов и методов манипуляции спинами, а также адаптирование к процессу обучения программы и учебника для изучения методов спектроскопии ЭПР и ОДМР для ВУЗов, а также книги, написанной руководителем проекта по заказу издательства Шпрингер.

## 7. Наличие соисполнителей

1) На первом этапе к выполнению работ привлекался соисполнитель: «Казанский (Приволжский) федеральный университет» (ФГАОУ ВО КФУ) согласно договору о НИР «Исследование сверхтонких и квадрупольных взаимодействий парамагнитных дефектов в образцах допированных марганцем гранатов методами электронного парамагнитного резонанса (ЭПР), электронного спинового эха (ЭСЭ) и двойного электронно-ядерного резонанса (ДЭЯР)» № 29 от 08 ноября 2017 г. между ФТИ им. А.Ф. Иоффе и ФГАОУ ВО КФУ.

2) На втором этапе к выполнению работ привлекался соисполнитель: «Институт физиологии им. И.П. Павлова РАН» (ИФ РАН) согласно договору о НИР «Лазерная конфокальная микроскопия наночастиц алмаза и карбида кремния в физиологических условиях» № 1/28 от 03 декабря 2018 г. между ФТИ им. А.Ф. Иоффе и ИФ РАН.

3) На втором этапе также к выполнению работ привлекался соисполнитель: «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики» (Университет ИТМО) согласно договору об оказании услуг «Измерение вольт-амперных спектров от наночастиц алмаза и карбида кремния и характеристика поверхности образцов в сверхвысоковакуумном сканирующем туннельном микроскопе» № 218867 от 06 декабря 2018 г. между ФТИ им. А.Ф. Иоффе и Университетом ИТМО.

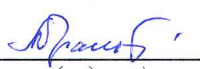
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской  
академии наук

\_\_\_\_\_  
Зам. директора  
(должность)

  
\_\_\_\_\_  
(подпись)

\_\_\_\_\_  
Лебедев С.В.  
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель работ по проекту  
\_\_\_\_\_  
заведующий лабораторией  
(должность)

  
\_\_\_\_\_  
(подпись)

\_\_\_\_\_  
Баранов П.Г.  
(фамилия, имя, отчество)

